

Compuestos bioactivos y capacidad antioxidante de los microgreens de la especie *Amaranthus Cruentus*, cultivados bajo diferentes longitudes de onda de luz LED.

Bioactive compounds and antioxidant capacity of the microgreens of the *Amaranthus* species *Cruentus*, grown under different lengths wave LED light

Quintero, Gabriela^{1*}; Noboa, Glenda²; Gómez Ruben²; De Lima, Aida²; Muñoz, Alexandra³; González, Aura Marina²; Izaguirre, César²

¹Formulaciones Químicas & Asesorías QA, C.A. Mérida-Venezuela

²Laboratorio de Ciencias, Ingeniería y Biotecnología de los Alimentos. Facultad de Ingeniería. Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Los Andes (U.L.A). Mérida-Venezuela

³Dpto. de Química. Área de Tecnología. Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. Falcón-Venezuela
[*gabriela@formulacionesqa.com](mailto:gabriela@formulacionesqa.com)

Resumen

*Los microgreens son plántulas comestibles consideradas alimentos funcionales por su alto contenido de metabolitos secundarios. Representan interesantes alternativas productivas para el óptimo consumo de vegetales y pueden ser cultivados en ambientes controlados, garantizando un buen desarrollo. Dentro de los parámetros ambientales que influyen en su desarrollo, la longitud de onda de la luz incidente sobre el cultivo es determinante en el crecimiento, la morfología, el color, el sabor y su valor nutricional. En este estudio, se evaluó la influencia de la longitud de onda de luz LED blanco (380-780nm), LED amarillo (570-585nm) y LED rojo + azul (rojo:820-780nm, azul:440-490nm), cada una con densidades de flujo de fotones fotosintético (PPFD) diferentes, sobre el contenido de los fitoquímicos, ácido ascórbico, clorofila a y b, carotenoides totales, polifenoles totales y capacidad antioxidante de los microgreens cultivados de la especie *Amaranthus cruentus*. Los métodos utilizados para determinar el contenido de los compuestos bioactivos fueron: Folin-Ciocalteu para polifenoles totales, método del poder reductor del ferricianuro de potasio para capacidad antioxidante, vitamina C por el método del indofenol y clorofila y carotenoides por espectrofotometría UV-visble con acetona al 80% como solvente. La fuente de emisión de luz LED con longitud de onda rojo + azul y PPFD de 352 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ resultó más efectiva que la longitud de onda de luz LED blanco y LED amarillo, al mejorar el rendimiento del peso fresco, la biosíntesis de pigmentos (carotenoides, clorofila a y b), el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante de los microgreens cultivados. Por otro lado, el análisis ANOVA arrojó un nivel de significancia de 0,05; por lo tanto, se puede concluir que el tipo de luz LED utilizada puede afectar el contenido polifenoles y capacidad antioxidantes de la muestra. En este sentido, es posible plantear el uso estratégico de la longitud de onda de luz LED y PPFD para mejorar el valor nutricional de los microgreens de *Amaranthus cruentus*, al maximizar los beneficios especialmente en contenido de polifenoles y capacidad antioxidante.*

Palabras clave: *Amaranthus cruentus*, compuestos bioactivos, capacidad antioxidante, microgreens, PPFD, luz LED

Abstract

Microgreens are edible seedlings considered functional foods due to their high content of secondary metabolites. They represent interesting productive alternatives for the optimal consumption of vegetables and can be grown in controlled environments, guaranteeing a good development. Within the environmental parameters that influence its development, the wavelength of the incident light on the crop is decisive in growth, morphology, color, flavor and its nutritional value. In this study, the influence of the light wavelength of white LED (380-780nm), yellow LED (570-585nm) and red+blue LED (red:820-780nm, blue:440-490nm) was evaluated, each one with different photosynthetic photon flux densities (PPFD), on the content of phytochemicals, ascorbic acid, chlorophyll a and b, total carotenoids, total polyphenols and antioxidant capacity of cultivated

microgreens of the Amaranthus cruentus species. The methods used to determine the content of bioactive compounds were: Folin-Ciocalteu for total polyphenols, method of the reducing power of potassium ferricyanide for antioxidant capacity, vitamin C by the method of indophenol and chlorophyll and carotenoids by UV-visible spectrophotometry with acetone. 80% as solvent. The LED light emission source with red + blue wavelength and PPFD of 352 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ was more effective than the white LED and yellow LED light wavelength, by improving the yield of fresh weight, the biosynthesis of pigments (carotenoids, chlorophyll a and b), the content of total phenolic compounds and the antioxidant capacity of the cultivated micro-greens. On the other hand, the ANOVA analysis yielded a significance level of 0.05. Therefore, it can be concluded that the type of LED light used can affect the polyphenol content and antioxidant capacity of the sample. In this sense, it is possible to propose the strategic use of the wavelength of LED light and PPFD to improve the nutritional value of Amaranthus cruentus micro-greens, by maximizing the benefits, especially in terms of polyphenol content and antioxidant capacity.

Keywords: *Amaranthus cruentus, bioactive compounds, antioxidant capacity, microgreens, PPFD, LED light*

1 Introducción

Los desafíos desde el punto de vista alimentario que trajo la pandemia del coronavirus SARS-Cov2 causante del COVID-19 están dirigidos principalmente al mundo de la agricultura. Los hábitos alimentarios buscan, indistintamente de la cultura del país que se considere, fortalecer el sistema inmunológico, hecho reforzado hoy día con más énfasis a consecuencia de la pandemia. Al respecto, los alimentos de origen vegetal son una fuente importante de micronutrientes y compuestos bioactivos con propiedades antioxidantes; dentro de este grupo se ubican los microgreens como una clase emergente que ha ganado popularidad creciente. Los microgreens son plántulas comestibles, que se cosechan entre 7 y 14 días después de la germinación cuando han emergido y abierto por completo los cotiledones. Pueden ser cultivados en zonas urbanas o periurbanas, donde la tierra es a menudo un factor limitante; en consecuencia, se busca ajustar, optimizar y expandir los espacios de producción, brindando alternativas que contribuyan a la seguridad alimentaria y al desarrollo sostenible.

En comparación con las semillas y plantas adultas de la misma especie, los Microgreens hiperacumulan los fitoquímicos 10 veces más en promedio. En particular, contienen pocos antinutrientes y son ricos en aminoácidos y sales minerales (Ca, Mg, Fe, Mn, Zn, Se y Mo), así como en metabolitos secundarios; por lo que califican como alimentos funcionales (Marchioni y col., 2021). El contenido y la composición de los metabolitos secundarios en los microgreens varían según la especie (Kyriacou, 2019). La ingesta de microgreens en pequeñas cantidades provee al cuerpo humano cerca del 89% del requerimiento vitamínico diario (Martinez, 2016). Con este trabajo, se persigue determinar las mejores condiciones, en cuanto a luz incidente, para que el cultivo se desarrolle óptimamente.

2 Marco Teórico

Las familias *Brassicaceae* y *Amaranthaceae* aportan la

mayoría de las especies y variedades utilizadas en la producción actual de microgreens (Di Gioia, 2017). El amaranto es un cultivo milenario que pertenece a la familia *Amaranthaceae*. La National Academy of Science de EUA ha categorizado al amaranto como “el mejor alimento de origen vegetal para el consumo humano”. Esta categorización lo concibe como una materia prima excepcional para la elaboración de una amplia gama de productos de buena aceptación que podría incluirse en el área de los “Alimentos Funcionales” (Soteras y col, 2011). El amaranto representa un cultivo de alta adaptabilidad y efectividad debido a que puede prosperar en condiciones agroclimáticas adversas (Octavio, 1994).

El espectro de luz que comprende las longitudes de ondas entre (400-700 nm) es el absorbido por las plantas, a esta fracción se le denomina PAR (acrónimo inglés para Photosynthetically Active Radiation), de manera tal que en la zona PAR, se mide la cantidad de fotones que inciden sobre el área de cultivo en una unidad de tiempo, y se conoce como densidad de flujo de fotones fotosintético (PPFD); esto es, la cantidad de fotones fotosintéticamente activos que caen sobre una superficie determinada por segundo y se mide en $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. Las plantas responden a la densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD) y, en consecuencia ajustan sus propiedades morfológicas y fisiológicas, incluida el área foliar y la proporción de clorofila (Cl) a/b. Estas respuestas se denominan respuestas de aclimatación a la luz. El PPFD ayuda a definir la intensidad de la luz sobre un área determinada y su valor depende de la fuente de emisión y de la distancia de las plantas respecto a la fuente de emisión. La luz LED (light emitting diode) ofrece las siguientes ventajas: el control de la composición espectral, pequeño tamaño, producción de altos niveles de luz con un índice de radiación calorífica bajo y una larga vida útil que les permite mantenerse trabajando por años sin necesidad de reemplazo (Guillermo y col., 2015). Los microgreens requieren de aproximadamente entre 12 y 16 horas continuas de luz diaria para su desarrollo (Pattnaik, 2020). Meas y col. (2020), implementaron la combinación de espectros de luz LED rojo (R) y azul (B) (70R:30B) con una densidad de flujo fotosintético de 280 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ y fotoperíodos prolongados de 16 h en el cultivo de microgreens de las especies *Amaranthus*

cruentus (amaranto rojo) y *Amaranthus gangeticus* (amaranto vegetal), lo que produjo un aumento en el rendimiento del peso fresco, clorofila, carotenoides, antocianina y capacidad antioxidante total. Andrei y col. (2020), partieron del hecho de que las proporciones de luz LED roja y azul son posibles de adaptar en la práctica para lograr inducir un mayor crecimiento y aumentar el contenido fenólico en microgreens de albahaca verde (*acyanic*) y roja (*cyanic*); encontrando que la luz LED azul mejora el crecimiento, el área del cotiledón, el peso fresco, la clorofila a y el contenido de pigmento de antocianina en los microgreens de albahaca roja y verde, mientras que la aplicación de luz LED roja mejora el contenido fenólico y de radicales libres en la albahaca verde y, en la albahaca roja, incrementó con la aplicación de luz LED azul. La luz roja, azul y la combinación de luz LED roja más azul son más efectivas que la luz blanca y otras longitudes de onda para mejorar la fotosíntesis y regular el metabolismo vegetal (Turner y col., 2020). Todo esto conduce a que al seleccionar los parámetros adecuados se optimice el desarrollo de compuestos bioactivos, capacidad antioxidante y minerales presentes en los microgreens cultivados en ambientes controlados.

3 Procedimiento Experimental

Los microgreens de amaranto fueron cultivados en un ambiente controlado que permitió el estudio puntual de la interacción de la variable independiente (longitud de onda), sobre la formación de compuestos bioactivos (variable dependiente).

3.1 Materia prima

- **Semillas:** las semillas de la especie *Amaranthus cruentus*, son semillas de origen ecológico, no certificadas.
- **Sustrato:** aserrín de coco grueso y tierra abonada.
- **Fuente de emisión de luz:** Luces LED con longitud de onda azul, rojo, amarillo y blanco de 40W.
- **Bandejas de cultivo:** Envases plásticos PET.

3.2. Parámetros fijos de cultivo

- **Locación:** Centro de la Ciudad de Mérida 1.610 m.s.n.m. Edo. Mérida
- **Humedad del ambiente:** 50-70 %.
- **Sustrato:** fibra de coco + tierra abonada. Proporción 30: 70 en peso. Definida después de evaluar la

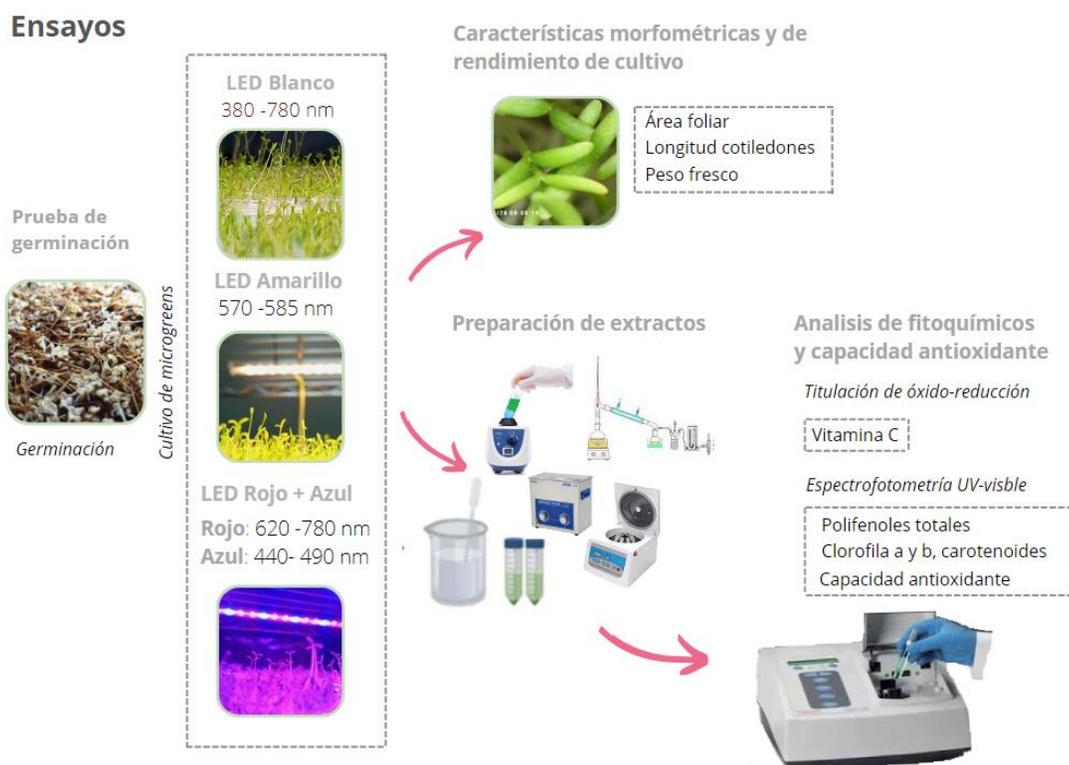


Fig. 1. Resumen gráfico- montaje experimental del trabajo de investigación (Quintero, 2022)

disponibilidad de materia prima en la zona. La combinación seleccionada de los sustratos permitió potenciar las propiedades en comparación con los sustratos individuales.

- *Densidad de siembra:* 12semillas/cm².
- *Área total de cultivo:* 1344 cm² (comprendida por 4 bandejas de 21x16cm²).
- *Distancia del microgreens respecto a la fuente de luz:* 15- 16 cm.
- *Riego:* una vez completada la germinación, por sub-irrigación en caso de ameritarlo.
- *Fotoperiodo:* 12 h/día.
- *Tiempo de cultivo:* 10-11 días.

3.3 Fuente de iluminación LED

La medición del PPFD de las luces LED se realizó con la app Android “PPFD Meter-Grow Light Meter” haciendo mediciones en forma horizontal y vertical que cubrieran toda la zona de cultivo, para construir con estos datos una cuadrícula de medición (Fig. 2); siendo 13,5 cm la altura desde la lámpara LED hasta el nivel del sustrato, y 7,5cm hasta el dosel de los Microgreens. A partir de estas lecturas se generaron las superficies de respuestas de PPFD en función de la posición (Fig. 3)

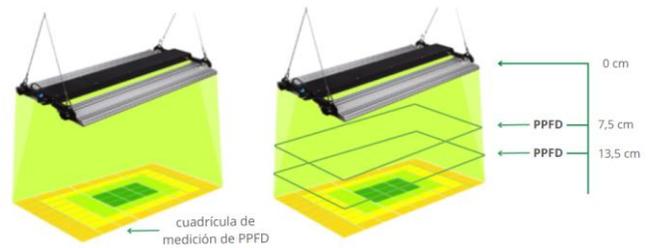


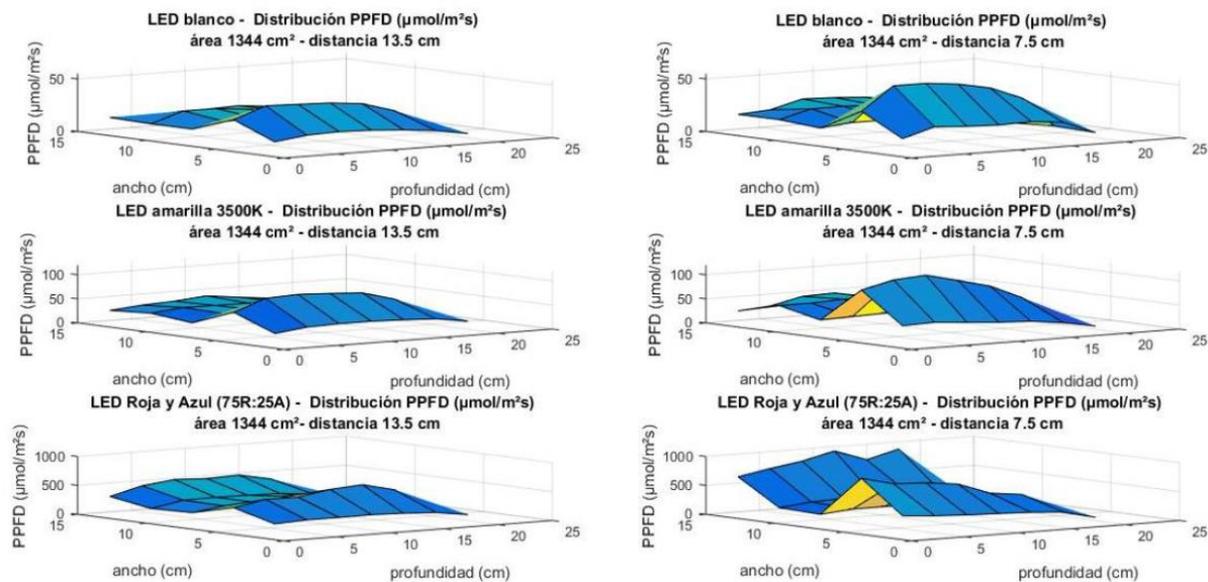
Fig. 2. Representación del mecanismo de medición del PPFD (densidad de flujo de fotones fotosintético) (Quintero, 2022)

3.4 Descripción de las pruebas

Para el cultivo de los microgreens de amaranto se requirió de la esterilización previa de los sustratos y semillas. Las condiciones de asepsia son imprescindibles durante el procedimiento de siembra.

3.4.1 Ensayo de germinación

Previo al cultivo de microgreens de amaranto, se determinó el potencial máximo de crecimiento del lote de semillas dispuesto para la siembra. El test de germinación se llevó a cabo en cápsulas Petri con papel de filtro humedecido con agua destilada. Para la aplicación del test de germinación se realizaron 4 réplicas de 50 semillas cada una (Ranal y col., 2006). Las cápsulas fueron cubiertas con papel film para reducir la evaporación y evitar posibles contaminaciones. Las semillas se consideraron germinadas una vez que ha emergido la radí-



cula.

Fig. 3 Gráfico de superficie, distribución de PPFD (densidad de flujo de fotones fotosintético) sobre el área de cultivo 4(21x16) cm² en función de la posición respecto a la fuente de luz LED (Quintero, 2022)

3.4.2 Preparación de extractos alcohólicos para la determinación de compuestos fenólicos y capacidad antioxidante

Tanto las semillas como los microgreens utilizados fueron previamente secados a 45-50°C, a fin de evitar la degradación de los polifenoles y frenar la actividad enzimática que minimiza la difusión de los compuestos fenólicos al seno del solvente. Se emplea como solvente de extracción metanol al 80 %, siguiendo el procedimiento descrito por Supriya y col. (2018), con algunas modificaciones. Las soluciones sobrenadantes (L1 + L2 + L3) se combinaron y se concentraron por destilación de vacío a 50-55 °C. En el caso del extracto de microgreens, requirió de la eliminación previa de la clorofila siguiendo el procedimiento propuesto por Lester (2013), a través de lavados del extracto con 2 mL de hexano, se somete a agitación en vórtex y ultrasonido durante 180 s y luego centrifugado a 3200rpm durante 5 min. El lavado con hexano se repitió dos veces más para un total de 3 lavados, y cada capa de hexano se retiró y se descartó. El extracto se almacena refrigerado a 4 °C y protegido de la luz.

3.4.3 Determinación del contenido de compuestos fenólicos totales

Se empleó el procedimiento propuesto por Supriya y col. (2018). Se mezclaron 0,5 mL de extracto metanólico con 2,5 mL de reactivo Folin-Ciocalteu (F-C) al 10 % (v/v). Transcurridos 5 min, se añadieron 2,5 mL de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 7,5 %, p/v, se mezclaron y se incubaron a temperatura ambiente durante 45 min. Luego se procedió a medir la absorbancia de la muestra usando un espectrofotómetro a 765 nm. Como solución patrón se empleó ácido gálico en metanol (concentraciones de 0,01; 0,03; 0,04; 0,05; 0,06; 0,1 mg /mL). Los resultados se expresan como equivalentes de ácido gálico (EAG) por 100 g de peso de muestra en base seca (g/100g).

3.4.3 Determinación de la capacidad antioxidante

El reactivo de hexacianoferrato (III) (ferricianuro) se incubó en una solución tampón ($\text{H}_2\text{PO}_4^- / \text{HPO}_4^{2-}$) de pH 6,6 con la solución de antioxidantes (a 50°C durante 20 min), y el producto de reducción, hexacianoferrato(II) (ferrocianuro), se combina con Fe (III) para producir azul de Prusia. La absorbancia se midió a 700 nm. Se utilizó ácido gálico como referencia (Berker, 2010).

3.4.4 Determinación del contenido de ácido ascórbico

La extracción se realizó en frío con ácido metafosfórico / ácido acético. Las cantidades implementadas parten de las propuestas por Trilokchandran, (2019). A una muestra de 2 g de semilla, y 1 g de microgreens, respectivamente, se le añaden 10 mL y 20mL, de disolvente (ácido metafosfórico-ácido acético) para la extracción en semillas y microgreens según sea el caso. Se agita en vortex por 5 min y luego se

lleva a ultrasonido por 10 min, posteriormente se filtra y se almacena refrigerado y protegido de la luz, hasta su uso. El extracto se titula con una solución de 2,6 diclorofenolindofenol a temperatura ambiente. El contenido de ácido ascórbico se cuantifica comparándolo con la curva estándar obtenida para las concentraciones conocidas de ácido ascórbico. Cada muestra se analiza por triplicado y los resultados son expresados como mg/g de materia seca para el caso de semillas y peso fresco en el caso de Microgreens (Nielsen, 2017)

3.4.5 Contenido de clorofila a y b y carotenoides

El contenido de clorofila total se determinó espectrofotométricamente, siguiendo el procedimiento propuesto por Sadasivan y Manickam (1991) "Biochemical methods", incluyendo una etapa de ultrasonido. Una muestra de 1g de microgreens frescos de amaranto finamente cortados y transferidos a tubos se centrifuga con 20 mL de acetona al 80% se agitan en un vortex por 15 min seguido de ultrasonido en baño de hielo por 8 min. Después se somete a un proceso de centrifugación por 5 minutos a 2500 rpm, el sobrenadante se transfirió a un matraz volumétrico de 50 mL, protegido de la luz. Luego el residuo se lava con 20 mL de acetona al 80 %, y se aplica agitación y ultrasonido para posteriormente aplicar centrifugado, el sobrenadante es transferido al mismo vaso de precipitado. Este proceso se repitió "n" veces, hasta que los residuos quedaran casi incoloros. La absorbancia de las soluciones de extracto, se leyeron a 646, 663 y 470 nm frente al blanco (acetona al 80%), según las ecuaciones propuestas por Lichtenthaler (1985), cuando se emplea acetona al 80% como solvente.

3.4.5 Área foliar, longitud del cotiledón

El área foliar y la longitud de los cotiledones de los microgreens cultivados bajos las diferentes longitudes de onda de luz LED, se midió haciendo uso del programa ImageJ. Seleccionando al azar 10 microgreens por bandeja de cultivo para un total de 40 plántulas analizadas por longitud de onda.

4 Resultados y Discusión

4.1 Prueba de germinación

La prueba de germinación de las semillas de *Amaranthus cruentus* mostró que el inicio de la germinación para algunas de las semillas ocurre después de transcurridas 24 horas y el tiempo promedio de germinación fue de 36 horas (1,5 días) con un porcentaje de germinación de $89,5 \pm 1,00$ %, ver tabla 1. El tratamiento de esterilización e imbibición en agua, permitió alcanzar un alto porcentaje de germinación requerido para el cultivo de microgreens, presentando plántulas sanas desarrolladas en un corto tiempo.

Los valores están expresados como media \pm desviación estándar. Se realizaron tres réplicas para el análisis (n = 3).

La tabla 2 muestra la cantidad real de semillas usadas por bandeja para el cultivo de microgreens de *Amaranthus cruentus*

Tabla 2 Estimación de la cantidad de semillas requerida por bandeja de cultivo

| Densidad de siembra (semillas/cm ²) | Área de cultivo (cm ²) | Semillas | Ajuste semillas (g/bandeja) |
|---|------------------------------------|----------|-----------------------------|
| 12 | 121x16 | 4032 | 3,62 |

4.2 Semillas

Continuando con la caracterización de las semillas de *Amaranthus cruentus*, se tiene que la humedad promedio reportada por Octavio (1984) para ellas es de 10,4 %, el contenido de cenizas oscila entre 2,8-3,9% y el contenido de ácido ascórbico se encuentra dentro del rango 4,5-4,9 g/100g y para polifenoles totales los valores reportados se pueden ubicar entre 272,6 - 615,3 µgEAG/gMS (Ogrodowska y col., 2012) y 430 µgEAG/gMS (Gorinstein, 2007). De manera tal que, los valores obtenidos en este trabajo de investigación, ver **tabla 3**, están en el rango esperado según los estudios previos referidos.

Tabla 3. Resultados de los análisis aplicados a las semillas de *Amaranthus cruentus* utilizadas para el cultivo de microgreens

| H (%) | C (%) | Vit C | FT | CA |
|------------|-----------|-----------|------------|------------|
| 10,65±0,03 | 4,18±0,11 | 3,04±0,40 | 81,87±0,00 | 41,99±0,02 |

H: Humedad, C: Cenizas, Vit C: Contenido de vitamina C (mg/100 g), F: Fenoles totales (mg EAG /100 g MS), CA: Capacidad antioxidante (mg EAG /100 g MS)

4.3 Microgreens

En la etapa de exposición a la luz, los microgreens cultivados bajo las diferentes longitudes de onda de luz LED, presentaron un desarrollo uniforme de las plántulas a lo largo de los días de cultivo. La figura 4, muestra que en el primer día de exposición de las plántulas a las diferentes longitudes de onda de luz LED, los cotiledones están cerrados y presentan una coloración amarillenta; una vez expuestos a la luz inician su apertura, expansión y verdor (fotosíntesis). Las plántulas recién emergidas crecen heterótrofamente de las reservas de las semillas, y su establecimiento se completa cuando las plántulas han adquirido competencia fotosintética y se vuelven autótrofa (Gommers y col., 2017).



Fig 4. Evolución de los microgreens a partir del primer día de exposición a la fuente de luz LED, hasta el día de cosecha (día diez) (Quintero, 2022)

Para el cultivo de microgreens, Frąszczak (2022), sugiere la implementación de PPFd entre 100–300 µmol/m²s. Sin embargo, otros autores reflejan que valores menores a 100 µmol/m²s son suficientes para que los microgreens crezcan en un ambiente de luz artificial. Así mismo, Turner y col. (2020), indica que es posible alcanzar un crecimiento óptimo de los microgreens con PPFd entre 330–440 µmol/m²s, produciendo mayor área superficial de los cotiledones, concentraciones más bajas de nitrato y mayor cantidad total de antocianinas, compuestos fenólicos totales y capacidad antioxidante. Los PPFd empleados en los diferentes ensayos de cultivo de microgreens de *Amaranthus cruentus*, ver figura 4, se ubican en los referidos anteriormente.

Cuanto mayor es el PPFd, más fotones PAR están disponibles por unidad de área para la fotosíntesis; lo que induce a respuestas de aclimatación a la luz de las plántulas en sus propiedades morfológicas y fisiológicas. En este sentido, la longitud de onda de luz LED influyó en la capacidad de los cotiledones de captar los fotones disponibles para la fotosíntesis; traducido en la extensión del área foliar. Es así que, para la luz LED rojo+ azul, con PPFd promedio de 352 µmol/m²s, el área foliar 6,62 ± 1,078 mm² resultó ser la mayor comparada con los cultivos bajo luz LED amarilla y blanca (ver Tabla 4, figura 5) resultado esperado según lo descrito por Meas y col., (2020) para los microgreens de las especies *Amaranthus cruentus* (amaranto rojo) y *Amaranthus gangeticus*, expuestas a la luz LED roja+ azul y según lo encontrado por Alrifai y col., (2019), quienes explican que la luz roja, azul y la combinación de rojo y azul son más

eficaces que la luz blanca y otras longitudes de onda para mejorar la fotosíntesis y regular metabolismo de las plantas.

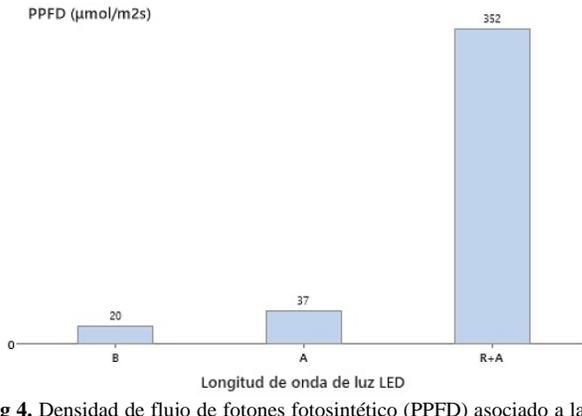


Fig 4. Densidad de flujo de fotones fotosintético (PPFD) asociado a las diferentes longitudes de onda de luz LED implementadas para el cultivo de Microgreens. B: blanco; A: Azul; R+A: rojo + azul (Quintero, 2022)

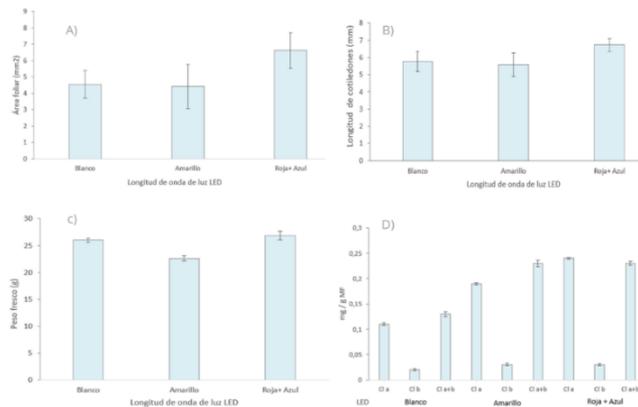


Fig 5. A) Área foliar, B) Longitud promedio de cotiledones, C) Peso fresco, D) Contenido de Clorofila a (Cl a), Clorofila b (Cl b), Clorofila (a+b) de los microgreens de *Amaranthus cruentus* cultivados bajo diferentes longitudes de onda de luz LED (Quintero, 2022)

Tabla 4. Parámetros morfológicos y peso fresco de los microgreens de *Amaranthus cruentus* cultivados bajo la influencia de diferentes longitudes de onda de luz LED

| LED | Longitud cotiledones (mm) | Área foliar (mm ²) | Peso fresco (g) | Peso seco (g) |
|-------|---------------------------|--------------------------------|-----------------|---------------|
| B | 5,76 ± 0,59 | 4,55 ± 0,85 | 26,01 ± 0,44 | 1,71 ± 0,04 |
| A | 5,57 ± 0,70 | 4,42 ± 1,35 | 22,63 ± 0,49 | 2,20 ± 0,04 |
| R + A | 6,74 ± 0,37 | 6,62 ± 1,08 | 26,85 ± 0,82 | 2,12 ± 0,08 |

B=Blanco, A=Amarillo, R+A= Rojo+azul

La figura 5 muestra que la mayor longitud de cotiledones de los Microgreens de amaranto cultivados, se alcanza cuando el cultivo es expuesto a la longitud de onda de luz LED rojo+ azul, comportamiento similar al obtenido para el área foliar del cotiledón. De donde, la longitud y el área foliar del cotiledón, junto al peso fresco de los microgreens, son parámetros morfométricos que responde al espectro de luz. A mayor PPFD, los microgreens acumularon progresivamente un mayor contenido de biomasa (peso fresco).

El contenido de clorofila a (Cl a), fue mayor en los microgreens de *Amaranthus cruentus* cultivados bajo luz LED roja + azul, al igual que el contenido de carotenoides (Car). Meas y col. (2020), reportaron que el contenido de Cl a y Car para los microgreens de *Amaranthus cruentus* expuestos a la luz LED roja+ azul (70R:30A) fue de 0,25 mg/g y 0,025 mg/g respectivamente. Es así que, el valor obtenido de Cl a de 0,24 mg/g coinciden con lo reportado. La tabla 5, muestra que el contenido de Cl b fue menor bajo el espectro de luz LED blanca

Tabla 5. Efecto de longitud de onda de luz LED sobre el contenido de clorofila a, b, relación clorofila a/b (Cl a/Cl b), clorofila a+b, carotenoides y relación clorofila/carotenoide (Cl/Car) de los microgreens cultivados

| LED | Cl a (mg/g MF) | Cl b (mg/g MF) | Cl a+b (mg/g MF) | Car (mg/g MF) |
|-----|----------------|----------------|------------------|---------------|
| B | 0,11 ± 0,00 | 0,02 ± 0,00 | 0,13 ± 0,00 | 0,04 ± 0,00 |
| A | 0,19 ± 0,00 | 0,03 ± 0,00 | 0,23 ± 0,00 | 0,06 ± 0,00 |
| R+A | 0,24 ± 0,00 | 0,03 ± 0,00 | 0,27 ± 0,00 | 0,08 ± 0,00 |

B=Blanco, A=Amarillo, R+A= Rojo+azul. Contenido de Clorofila a (Cl a), Clorofila b (Cl b), Clorofila (a+b) Valores expresados como media ± desviación estándar. Se realizaron tres réplicas para el análisis (n=3).

La exposición de los microgreens de *Amaranthus cruentus* a la fuente de luz LED rojo+ azul, estimuló la mayor acumulación de ácido ascórbico, en comparación con los microgreens cultivados bajo luces LED de menor PPFD (LED amarillo y blanco), ver figura 6, este resultado coincide con lo reportado por Samuolienė (2012) quienes encontraron que la luz LED con alto PPFD estimuló la acumulación de ácido ascórbico en microgreens de las especies *Brassicaceae* y *Amaranthus*. Meas y col. (2020), determinaron que el contenido de vitamina C en microgreens de la especie *Amaranthus cruentus* (amaranto rojo) expuestos a la luz LED roja+ azul (70R:30A) oscila entre 2,5-3 mg/ 100 g MF. En este sentido los valores obtenidos de vitamina C fueron de 8,41; 5,28 y 3,87 mg/ 100 g MF para los microgreens de la especie *Amaranthus cruentus*, bajo las longitudes de onda de luz LED rojo+ azul, blanco y amarillo respectivamente (ver Tabla 6); siendo estos valores superiores a los referidos por Meas y col. (2020).

Tabla 6. Contenido de humedad y ácido ascórbico presente en los Microgreens cultivados bajo diferentes longitudes de onda de luz LED

| LED | Humedad (%) | Vitamina C (mg/100 g MF) |
|------------|--------------|--------------------------|
| Blanco | 93,42 ± 0,45 | 5,28 ± 0,01 |
| Amarillo | 90,28 ± 0,61 | 3,87 ± 0,01 |
| Roja+ Azul | 92,13 ± 0,26 | 8,41 ± 0,01 |

MF: microgreen fresco. Los valores están expresados como media ± desviación estándar. Se realizaron tres réplicas para el análisis (n=3).

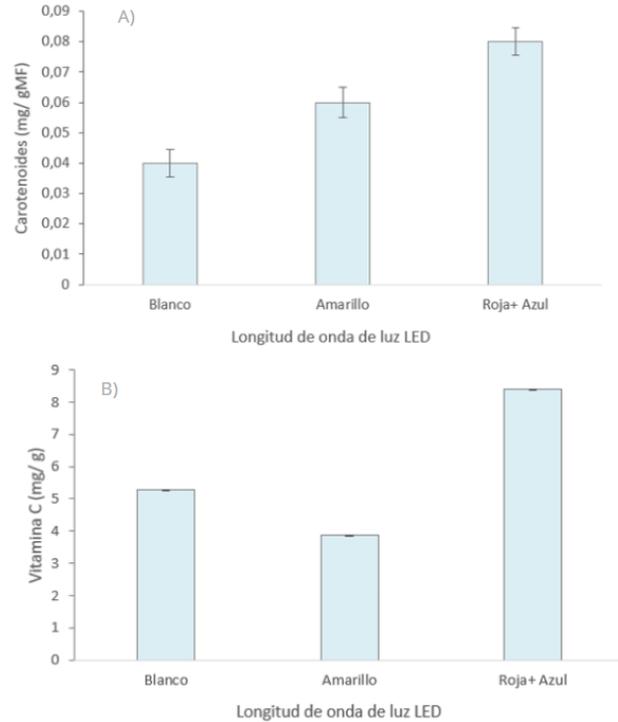
En comparación con sus semillas, los microgreens de *Amaranthus cruentus* cultivados bajo diferentes longitudes de onda de luz LED presentaron concentraciones más altas de ácido ascórbico (ver Tabla 7 y figura 6). El proceso de germinación y crecimiento de la plántula promueven una intensa actividad metabólica, que induce a una serie de reacciones químicas, favoreciendo el incremento de compuestos bioactivos. Similar al efecto de la incidencia de la longitud de onda de luz LED rojo + azul, sobre el peso fresco y la biosíntesis de pigmentos de los microgreens de amaranto cultivados, se logró también mejorar la capacidad antioxidante total y el contenido de polifenoles respecto a los obtenidos para el cultivo expuesto a la luz LED blanca y LED monocromática amarilla (ver Tabla 8 figura 7).

Tabla 7. Contenido de vitamina C presente en las semillas y los microgreens cultivados bajo diferentes longitudes de onda de luz LED

| <i>Amaranthus cruentus</i> | | Vitamina C (mg/100 g MF) |
|----------------------------|-----|--------------------------|
| semilla | | 3,04 ± 0,40 |
| Microgreens | B | 5,28 ± 0,01 |
| | A | 3,87 ± 0,01 |
| | R+A | 8,41 ± 0,01 |

Tabla 8. Polifenoles totales y Capacidad antioxidante

| LED | Polifenoles totales (EAG mg /100 g MF) | Capacidad antioxidante (EAG mg /100 g MF) |
|------------|--|---|
| Blanco | 125,12 ± 0,01 | 30,02 ± 0,00 |
| Amarillo | 155,41 ± 0,07 | 38,55 ± 0,00 |
| Roja+ Azul | 233,98 ± 0,06 | 62,02 ± 0,02 |

**Fig 6.** A) Contenido de carotenoides y B) Contenido ácido ascórbico de los microgreens de *Amaranthus cruentus* cultivados bajo diferentes longitudes de onda de luz LED (Quintero, 2022)

La capacidad antioxidante y el contenido de polifenoles totales, fueron estimados con el método del poder reductor del ferricianuro de potasio y el método de Folin-Ciocalteu, respectivamente. Sin embargo, el reactivo Folin-Ciocalteu reacciona con aquellas sustancias no fenólicas que son capaces de reducirlo, por lo que también es posible estimar la capacidad reductora, midiendo las propiedades reductoras de sustancias hidrofílicas presentes en el extracto. Tanto el ensayo de Folin-Ciocalteu como el del poder reductor del ferricianuro de potasio, emplean reacciones redox para producir complejos con el aumento de la absorbancia a una longitud de onda específica (700 y 765 nm) y a pH diferentes. Las diferencias entre los valores obtenidos en los ensayos de Folin-Ciocalteu (F-C) y el poder reductor del ferricianuro de potasio (PRFP) se asocian a la sensibilidad del reactivo, el potencial redox del medio y la capacidad reductora de los compuestos en el medio de reacción. En tal sentido, el ensayo F-C utiliza un medio alcalino (pH 10-12) mejorando la disociación de protones de los compuestos fenólicos en fenolatos, mientras que la reacción en el ensayo PRFP se lleva a cabo en medio ácido, que a su vez puede suprimir la capacidad reductora de la muestra debido a la baja tasa de protonación (Granato, 2016).

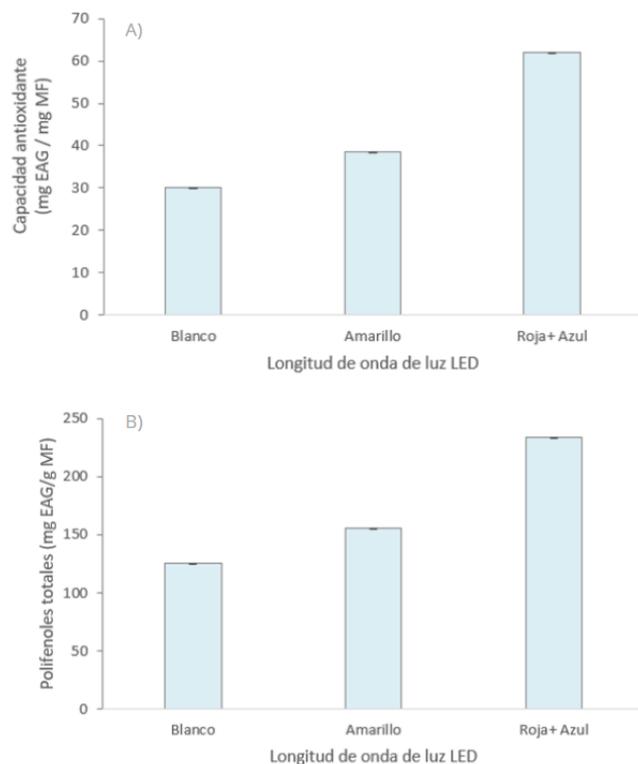


Fig 7. A) Capacidad antioxidante y B) Polifenoles totales de los Microgreens de Amaranthus cruentus cultivados bajo diferentes longitudes de onda de luz LED (Quintero,2022)

Tabla 9. Contenido de compuestos fenólicos totales, en semillas y Microgreens de Amaranthus cruentus, cultivados bajo diferentes longitudes de onda de luz LED

| Amaranthus cruentus | | Polifenoles totales (EAG mg /100 g MF) |
|---------------------|-----|--|
| semilla | | 91,63 ± 0,00 |
| Microgreens | B | 125,12 ± 0,01 |
| | A | 155,41 ± 0,07 |
| | R+A | 233,98 ± 0,06 |

Las diferencias en el contenido fenólico de las semillas y los Microgreens cultivados bajo las diferentes longitudes de onda de luz LED, evidencia los efectos del ciclo de crecimiento de la plántula sobre la naturaleza fenólica predominante, ver Tabla 9.

Finalmente, el ANOVA de los resultados obtenidos indica que las medias de las variables estudiadas para cada tipo de luz LED aplicada, son significativamente diferentes. La Tabla 10 reporta el análisis de varianza, donde los superíndices a, b y c muestran que las medias de las variables para cada

tipo de luz LED son significativamente diferentes entre sí, con un nivel de significancia de 0,05; evidenciando que existe una diferencia estadísticamente significativa entre las medias de las variables para cada tipo de LED. En consecuencia, se puede afirmar que el tipo de luz LED utilizada afecta el contenido de antioxidantes y polifenoles de los microgreens cultivados en este estudio.

Tabla 10. Tabla de los parámetros evaluados con los valores medios y desviaciones estándar para cada tipo de luz LED y resultados del análisis de varianza (ANOVA).

| LED \ VARIABLE | LED Blanco | LED Amarillo | LED Rojo-Azul |
|-------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Cap. Antiox. (mg EAG/g MF) | 0,3003± 0,0030 ^a | 0,3855± 0,0046 ^b | 0,6202± 0,1538 ^c |
| Polifenoles (EAG mg /g MF) | 1,2512± 0,0159 ^a | 1,5541± 0,0135 ^b | 2,3399± 0,0556 ^c |
| Ácido ascórbico (mg /g MF) | 0,0528± 0,0070 ^a | 0,0387± 0,0067 ^a | 0,0841± 0,0066 ^b |
| Humedad (%) | 93,4198± 0,4549 ^a | 90,2785± 0,6052 ^b | 92,1305± 0,2631 ^c |
| Clorofila a (mg/gMF) | 0,1112± 0,0004 ^a | 0,1994± 0,0003 ^b | 0,2440± 0,0017 ^c |
| Clorofila b (mg/gMF) | 0,0240± 0,0003 ^a | 0,0354± 0,0003 ^b | 0,0337± 0,0019 ^b |
| Carotenoides (mg/ gMF) | 0,0417± 0,0008 ^a | 0,0643± 0,0008 ^b | 0,0753± 0,0008 ^c |
| Clorofila total (mg/gMF) | 0,1352± 0,0006 ^a | 0,2348± 0,0001 ^b | 0,2778± 0,0011 ^c |
| Cla/Cfb | 4,6405± 0,0601 ^a | 5,6306± 0,0578 ^b | 7,2535± 0,4594 ^c |
| Clorofila total/ Carotenoides | 3,2399± 0,0537 ^a | 6,6535± 0,04134 ^b | 3,6970± 0,2297 ^b |

a,b,c: Las medias de la variable para cada tipo de LED con distintos superíndices son significativamente diferentes, con un nivel de significancia del 0,05

5 Conclusiones

- La investigación dió como resultado que la fuente de luz LED con longitud de onda rojo + azul y PPFD de 352 μmol/m²s es más efectiva que la longitud de onda de luz LED blanco y LED amarillo para mejorar el rendimiento del peso fresco, la biosíntesis de pigmentos (carotenoides, clorofila a y b), el contenido de compuestos fenólicos totales y la capacidad antioxidante de los microgreens cultivados.
- La mayor extensión de área foliar resultante en los microgreens de Amaranthus cruentus cultivados bajo la incidencia de la longitud de onda de luz LED rojo + azul, comparada con la obtenida para luz LED blanca y amarilla; permitió una mejor captación de la energía lumínica aprovechable para la fotosíntesis, traducido en un mayor contenido de clorofila.
- Los microgreens de Amaranthus cruentus cultivados bajo la incidencia de las diferentes longitudes de onda de luz LED probadas, presentaron mayor contenido de compuestos bioactivos (vitamina C, polifenoles) y

capacidad antioxidante respecto a sus semillas.

- Es factible desarrollar el cultivo de microgreens de *Amaranthus cruentus* en ambiente controlado dentro de entornos urbanos, bajo máximas condiciones de asepsia, haciendo uso de los recursos disponibles en la zona; semillas ecológicas, sustratos orgánicos y bandejas reutilizables.

Referencias

- Alrifai, O., Hao, X., Marcone, M., Tsao, R. (2019). Current review of the modulatory effects of led lights on photosynthesis of secondary metabolites and future perspectives of microgreen vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 67, pp. 6075-6090. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.9b00819>
- Amaki, W., Yamazaki, N., Ichimura, M., Watanabe, H. (2011). Effects of light quality on the growth and essential oil content in sweet basil. *Acta Horticulturae*, 907, pp. 91–94 <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2011.907.9>
- Andrei, L., Vasilache, V., Pintilie, O., Stoleru, T., Marian, B., Oroian, M., Zamfirache, M. (2017). Blue and red led illumination improves growth and bioactive compounds contents in acyanic and cyanic *ocimum basilicum* l. microgreens. *Molecules*, 22, pp. 2111-2125 <https://doi.org/10.3390/molecules22122111>
- Berker, K. (2010). Total antioxidant capacity assay using optimized ferricyanide/prussian blue method. *Food Anal. Methods*, 3, pp. 154–168 <https://doi.org/10.1007/s12161-009-9117-9>
- Coelho, L., Vicente, A., Pinheiro, A., Martins, J., Silva, P., (2018). Emerging opportunities in exploring the nutritional/functional value of amaranth. *Food Function*, 9, pp. 5499-5512 <https://doi.org/10.1039/C8FO01422A>
- Di Gioia, M.R., Santamaria, P. (2017). Microgreens and “baby leaf” vegetables. In: *Minimally Processed Refrigerated Fruits and Vegetables*, chap. 11, pp. 403–428 <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-7018-6>
- Frańczczak, B., Kula Maximenko, M. (2022). The biometric parameters of microgreen crops grown under various light conditions. *Agriculture*, 12, pp 576-586. <https://doi.org/10.3390/agriculture12050576>
- Gommers, C., Monte, E. (2017). Seedling establishment: A dimmer switch-regulated process between dark and light signaling. *Plant Physiology*, 176, pp. 1061–1074 <https://doi.org/10.1104/pp.17.01460>
- Gorinstein, S. O. (2007). The total polyphenols and the antioxidant potentials of some selected cereals and pseudocereals. *Eur Food Res Technol*, 225(3), pp 321-328. <https://doi.org/10.1007/s00217-006-0417-7>
- Granato, D., Santos, J.S., Maciel, L.G., Nunes, D.S. (2016). Chemical perspective and criticism on selected analytical methods used to estimate the total content of phenolic compounds in food matrices. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*, 80, pp 266–279 <https://doi.org/10.1016/j.trac.2016.03.010>
- Guillermo. Paniagua-Pardo, Claudia Hernández-Aguilar (2015). Efecto de la luz led de alta intensidad sobre la germinación y el crecimiento de plántulas de brócoli (*brassica oleracea* l.), *Polibotánica Mexico*, (40), pp.199-212
- Kyriacou, M., El-Nakhel, C., Pannico, A., Graziani, G., Soteriou, G., Giordano, M., Zarrelli, A., Ritieni, A., De Pascale, S., Roupahel, Y. (2019). Genotype-specific modulatory effects of select spectral bandwidths on the nutritive and phytochemical composition of microgreens. *Frontiers in Plant Science*, 10, pp.1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01501>
- Lester, G., Makus, D., Hodges, D., Jifon, J (2013). Summer (subarctic) versus winter (subtropic) production affects spinach (*spinacia oleracea* l.) leaf bio-nutrients: Vitamins (c, e, folate, k-1, provitamin a), lutein, phenolics, and antioxidants. *Journal of agricultural and food chemistry*, 61, pp.7019-7027 <https://doi.org/10.1021/jf401461z>
- Lichtenthaler, H., Wellburn, A. (1985). Determination of total carotenoids and chlorophylls a and b of leaf in different solvents. *Biochem. Soc. Trans.*, 11, pp 591–592
- Marchioni I, Martinelli M, (2021). Small functional foods: Comparative phytochemical and nutritional analyses of five microgreens of the brassicaceae family. *MDPI*. 10(2): pp 427-452
- Martínez Camacho, R.A. (2016). Debaryomyces hanse-nii como agente de control biológico y modulador del contenido de compuestos bioactivos en microgreens como plataforma alimentaria. *Tesis para optar al grado de Maestra en Ciencias con orientación en Biotecnología. Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste, S.C. Programa de Estudios de Postgrado*, pp.1-107
- Martínez-Núñez, M., Ruiz-Rivas, M., Vera-Hernández, P., Bernal-Muñoz, R., Luna-Suárez, S., Rosas-Cárdenas, F. (2019). The phenological growth stages of different amaranth species grown in restricted spaces based in bbch code. *South African Journal of Botany*, 124, pp 436– 443 <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2019.05.035>,
- Meas, S., Luengwilai, K., Thongket, T. (2020). Enhancing growth and phytochemicals of two amaranth microgreens by leds light irradiation. *Scientia Horticulturae*, 265, 109204 <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109204>

- Nielsen, S.S. (2017). Food Analysis Laboratory Manual (Food Science Text Series), chap. 15. 3 edn. Springer International Publishing, pp 143-146.
- Octavio, L. (1994). Amaranth. Biology, Chemistry, and Technology. CRC Press
- Ogrodowska, D., Czaplicki, S., Zadernowski, R., Mattila, P., Hellström, J., Naczek, M. (2012). Phenolic acids in seeds and products obtained from amaranthus cruentus. *Journal of food and nutrition research*, 51(2), pp. 96–101
- Pattnaik, P.B.: Emerging trend of microgreens- potential nutrient enhancer in human diet. *Agriculture Food: e-Newsletter*.
- Quintero, G. (2022) Compuestos Bioactivos y Capacidad Antioxidante de los Microgreens de la Especie Amaranthus Cruentus, Cultivados Bajo Diferentes Longitudes de Onda de Luz LED. Trabajo Especial de Grado como requisito para optar al Título de Magister Scientiae en Ingeniería Química. Universidad de Los Andes. Mérida. Venezuela, pp 1-128.
- Ranal, M., Santana, D. (2006). How and why to measure the germination process? *Brasil bot. Brazilian Journal of Botany*, 29, pp 1-11
<https://doi.org/10.1590/S010084042006000100002>
- Samuolienė, A. Brazaitytė, R.S.e.a. (2012). The impact of supplementary short-term red led lighting on the antioxidant properties of microgreens. *Acta Horti*, 956, pp. 649-656. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.956.78>
- Soteras, E.M. (2011). Obtención y Formulación de una Bebida en Base de Granos de Amaranto. Master's thesis, Universidad Nacional del Litoral, pp. 1-50
- Supriya, P., Radha, K.V. (2018). Estimation of phenolic compounds present in the plant extracts using high pressure liquid chromatography, antioxidant properties and its antibacterial activity. *Indian Journal of Pharmaceutical Education and Research* 52(2): pp 321-326
- Turner, E., Luo, Y., Buchanan, R. (2020). Microgreen nutrition, food safety, and shelf life: A review. *Journal of Food Science*, 85, pp. 870-882
<https://doi.org/10.1111/17503841.15049>
- Laboratorio de Ciencia, Ingeniería y Biotecnología de Alimentos. correo electrónico: glenda.noboa@gmail.com*
<https://orcid.org/0009-0008-4585-8437>
- Gómez Ruben.** MSc. Food Engineering. National College of Food Technology, University of Reading, Weybridge, Inglaterra. Profesor Titular de la Escuela de Ingeniería Química, Facultad de Ingeniería, U.L.A correo electrónico: rcgomezr@gmail.com <https://orcid.org/0009-0006-4138-5826>
- De Lima, Aida.** MSc Ingeniería Química ULA. Profesor Asistente adscrita al departamento de Química Industrial y Aplicada de la Escuela de Ingeniería Química de la ULA. Investigadora en el área de ciencia y tecnología de los alimentos. correo electrónico: aidajdl@gmail.com <https://orcid.org/0009-0003-3850-0019>
- González, Aura Marina.** Dr en Ciencias Aplicadas a la Ingeniería. ULA. MSc Scientiarum en Química Aplicada en espectroscopia molecular. Profesor Titular. Departamento de Química Industrial y Aplicada. Escuela de Ingeniería Química. ULA correo electrónico: gonzaurita@gmail.com <https://orcid.org/0009-0003-4147-1044>
- Izaguirre, César.** Licenciado en Química. ULA. Curso de Postgrado Interfacultades en Ciencia y Tecnología de los Alimentos. CIENCIAS-UCV. Nivel Maestría. Investigador de la Escuela de Ingeniería Química. Laboratorio de Ciencia, Ingeniería y Biotecnología de los Alimentos. ULA correo electrónico: cmizag@gmail.com <https://orcid.org/0009-0004-0351-8515>
- Muñoz, Alexandra** MSc en Ingeniería Ambiental LUZ. Profesor Asociado. Dpto de Química. Area de Tecnología de la Universidad Nacional Experimental Francisco de Miranda. correo electrónico: profalexamounefm@gmail.com <https://orcid.org/0009-0009-1042-023X>

Recibido: 23 de marzo 2023

Aceptado: 15 de julio 2023

Quintero, Gabriela. MSc en Ingeniería Química (U.L.A). Directora de Formulación Químicas & Asesorías QA, C.A, Mérida- Venezuela. <https://orcid.org/0009-0006-5240-0462>

Noboa, Glenda. MSc en Ingeniería Química (U.L.A). Profesor Agregado. Dpto. Química Industrial y Aplicada Escuela de Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería. Jefe del

